

## H15/B09 高気圧・高密度プラズマの生成と制御(1節 共同プロジェクト研究の理念と概要, 第4章 共同プ ロジェクト研究)

雑誌名	東北大学電気通信研究所研究活動報告
巻	12
ページ	200-202
発行年	2006-08
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/30630">http://hdl.handle.net/10097/30630</a>

課題番号 H15/B09

## 高気圧・高密度プラズマの生成と制御

### [1] 組織

代表者：犬竹正明 (東北大学工学研究科)  
 対応者：末光眞希 (東北大学学際高等セ)  
 分担者：安藤 晃 (東北大学工学研究科)  
 飯塚 哲 (東北大学工学研究科)  
 服部邦彦 (東北大学工学研究科)  
 庭野道夫 (東北大学電気通信研究所)  
 佐藤信之 (東北大学電気通信研究所)  
 西山秀哉 (東北大学流体科学研究所)  
 佐宗章弘 (東北大学流体科学研究所)  
 藤原民也 (岩手大学工学研究科)  
 高木浩一 (岩手大学工学研究科)  
 高山正和 (秋田県立大学システム科学)  
 斉藤和史 (宇都宮大学工学研究科)  
 市村 真 (筑波大学プラズマ研)  
 斉藤輝雄 (筑波大学プラズマ研)  
 北條仁士 (筑波大学プラズマ研)  
 池畑 隆 (茨城大学理工学研究科)  
 秋津哲也 (山梨大学工学部)  
 豊島安健 (産業技術総合研究所)  
 浦島邦子 (科学技術政策研究所)  
 荒川義博 (東京大学工学研究科)  
 小田哲治 (東京大学工学研究科)  
 渡辺隆行 (東京工業大学原子炉研)  
 小駒益弘 (上智大学理工学部)  
 都木恭一郎 (東京農工大学工学教育部)  
 津島 晴 (横浜国立大学工学研究院)  
 水野 彰 (豊橋技術科学大学)  
 神藤正士 (静岡大学工学部)  
 永津雅章 (静岡大学工学部)  
 菅井秀郎 (名古屋大学工学研究科)  
 河野明廣 (名古屋大学工学研究科)  
 堀 勝 (名古屋大学工学研究科)  
 佐々木浩一 (名古屋大学工学研究科)  
 上村鉄雄 (名城大学理工学部)  
 金子 修 (核融合科学研究所)  
 竹入康彦 (核融合科学研究所)  
 長山好夫 (核融合科学研究所)  
 田中雅慶 (核融合科学研究所)  
 吉村信次 (核融合科学研究所)  
 吉沼幹朗 (核融合科学研究所)  
 藤村紀文 (大阪府立大学工学部)  
 橘 邦英 (京都大学工学研究科)  
 斧 高一 (京都大学工学研究科)

田原弘一 (大阪大学基礎工学研究科)  
 永田正義 (兵庫県立大学工学研究科)  
 福政 修 (山口大学工学部)  
 内藤裕志 (山口大学工学部)  
 中島秀紀 (九州大学総合理工学研究院)  
 篠原俊二郎 (九州大学総合理工学研究院)  
 佐藤浩之助 (九州大学応用力学研究所)  
 間瀬 淳 (九州大学産学連携センター)  
 藤山 寛 (長崎大学工学部)  
 秋山秀典 (熊本大学工学研究科)  
 山部長兵衛 (佐賀大学工学部)  
 竹田 篤 (有) アイエスアイ)  
 藤井修逸 ((株) アドテックプラズマテクノロジ)  
 中谷達行 ((株) トーヨーテック)

研究費：校費 5 万円、旅費：58 万円

### [2] 研究経過とその成果

本研究では、高気圧・高密度プラズマの生成・制御法を総合的に理解し、お互いのプラズマ特性の評価、理論的検討などを進め種々の応用研究へ適応することを目的としている。そこで今年度は、プラズマの流れが深く関与する基礎・応用研究を行う研究者による研究討論会を開催した。

(研究討論会開催状況)

#### 第1回

日 時：平成 17 年 6 月 7 日 (火)  
 会 場：東北大学工学部電気情報館 103 会議室  
 講 師：船木一幸 (宇宙航空研究開発機構)  
 題 目：JAXA の深宇宙探査と先端推進技術研究

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) の深宇宙ミッションと将来計画全体のレビューが行われ、高効率な新宇宙航行システムとして提案された磁気プラズマセイルの概念および計算機シミュレーション結果について述べられ、実験室内で行われた実験結果について報告があった。さらに、この新宇宙電気推進システムの課題について述べられた。

#### 第2回

「流れが深く関与するプラズマの諸現象」研究会  
 日 時：平成 18 年 2 月 27 日 (月)～28 日 (火)

場 所：東北大学工学部電気情報館 103 会議室

- (1) 犬竹正明（東北大院・工） あいさつ
- (2) 吉田善章（東大院・新領域）  
“RT1 プロジェクトが目指すもの（高速流プラズマの物理）”
- (3) 阪上雅昭（京大院・人間環境）  
“Experiment on Blackhole Physics in Laboratories.”
- (4) 磯部裕和（東北大院・工）  
“遷音速プラズマ流中のイオンマッハ数と断熱指数評価”
- (5) 柴田雅希（東北大院・工）  
“宇宙推進機応用を目指したプラズマ流中のイオン加熱と加速”
- (6) 田原弘一（阪大院・基礎工）  
“カスプ・ダイバージェントノズル状外部磁場をもつMPD推進機の性能とプラズマ特性”
- (7) 國中 均（JAXA宇宙科学研究本部）  
“はやぶさ探査機のイオンエンジンによる深宇宙動力航行”
- (8) 栗木恭一（宇宙科学研究所名誉教授，前・宇宙開発委員会委員）  
“宇宙システムの安全性・信頼性”
- (9) 田中雅慶（九大院・総理工）、三宅文彦（名古屋大院・理）  
“背景中性粒子流れと相互作用する渦”
- (10) 曾我之泰（京大院・人間環境）  
“回転波動に駆動される純電子プラズマの径方向輸送現象”
- (11) 青木 順（京大院・人間環境）  
“回転する純電子プラズマの平衡分布への緩和過程と新しい計測手法”
- (12) 河井洋輔（京大院・人間環境）  
“不安定な軸対称回転流から乱流を経由して到達する軸対称な安定分布の形成過程（渦運動とモード結合の2視点から解析する）”
- (13) Kyu-Sun Chung（東大 / 漢陽大）  
“Measurement of flow velocity by Mach probes in magnetised and un-magnetised plasmas.”
- (14) 佐々木浩一（名大院・工）  
“レーザー応用低温プラズマ診断の最近の話題”
- (15) 山田浩義、服部邦彦（東北大院・工）  
“流れを用いた直流大気圧グロー放電の安定維持”
- (16) 北畠弘達（東北大院・工）  
“大気圧プラズマを用いたSi 薄膜堆積”

高温・高密度プラズマ研究において、吉田氏によ

り天体の磁気圏に似た構造のプラズマを実験室に作り出し、その高 $\beta$ という特徴をつかって、先進的核融合を可能にする超高温のプラズマ閉じ込めを行うとともに、プラズマの流れが生み出す様々な複雑現象の解明やプラズマ宇宙物理の基礎研究を行うことを目的としたRT1 プロジェクトの報告があった。

基礎研究においては、阪上氏により、通常気体流中のラバールノズル中での遷音速流の音速点を利用したブラックホールのホーキング輻射の模擬実験の原理の解説と現在の実験の状況について報告された。田中、三宅の両氏により、ECH によるプラズマ生成を行い、プラズマ中に形成される渦現象についての研究報告があった。曾我、青木、河井氏らのグループにより、Malmberg Trap で閉じ込めた純電子プラズマの粒子の径方向輸送機構や平衡分布への緩和過程など、実験ならびに計算解析手法などの報告がなされた。

プラズマ流の応用として、柴田氏により、東北大学 HITOP 装置の MPD アークジェットにより生成される高速プラズマ流中での高周波加熱の効率化と磁気ノズルを用いた流れエネルギー制御に関する実験結果について報告があった。また、田原氏によりカスプ・ダイバージェントノズル状磁場をもつ MPD スラスタの性能特性とプラズマ状態について述べられた。國中氏により、マイクロ波放電式 ECH 型イオンエンジンを搭載した小惑星探査機「はやぶさ」の軌道運用について報告がなされた。さらに、栗木氏によりパルス MPD 推進機として初めての性能・耐久試験も行われたフリーフライヤー-SFU の有人宇宙システム安全性・信頼性の概念について紹介された。

プラズマ計測の分野において、Chung 氏により、プラズマ流を評価するための静電プローブ測定法についての報告がなされ、磯部氏により磁気ラバールノズルを通過するプラズマ流について、マッハプローブを用いたイオンマッハ数計測と理論値の比較から断熱指数の評価に関する報告があった。さらに、佐々木氏により、レーザー分光法（レーザー吸収分光法およびレーザー誘起蛍光法）を利用した低温プラズマ診断技術に関して、特に、プラズマ中の流れの測定に関連した最近の話題について報告があった。

大気圧プラズマの基礎・応用研究分野においては、山田氏により、針対平板電極間に直流高電圧を印加し、放電路に高速の気流を流すことで大気圧下でも高い放電電流までグロー放電を維持できる手法を用い、気流流速の増加とともにグロー放電最大維持電流が増加し、特に陽極近傍に高速の気流を流すことがグロー放電の安定維持に有効である実験報告がなされた。北畠氏により、パルス電界プラズマを用い

でシラン-水素系の大気圧プラズマを初めて実現し、ガラス基板上にポリ Si 薄膜を堆積したとの報告があった。

上記の2回の講演会および研究会の参加者は、それぞれ学内外を含め50名以上であった。各講演内容に対して参加者による活発な討論が行われ、理論的、実験的側面ならびに応用についての理解に大きく寄与した。

### [3] 波及効果と発展性など

本プロジェクト研究会では、様々な立場で研究が行われてきたプラズマの生成・制御法を総合的に理解し、お互いの特性の評価、理論的検討などを進めることができた。また、今年度は基礎物理の観点と応用面に至る広範な研究分野について取り扱った。これらのことは、プラズマを取り扱う上で共通する物理現象を把握し、種々の応用研究へ適応するために必要とされる制御法や計測法について新しい知見が得られた。高密度および低密度プラズマを対象としたプラズマ流とプラズマ内部構造形成や粒子相互作用の関係、磁気ノズルや閉じ込めなど磁場との相互作用等の研究は、基礎研究および応用分野でさらなる研究の発展・理解につながることを期待される。

### [成果資料]

- [1] 田原弘一, 森崎裕之, 加賀谷洋一, “カスプ・ダイバージェントノズル状外部磁場をもつMPDスラストの性能とプラズマ特性”, プラズマ応用科学, Vol.13, 55-61(2006).
- [2] 國中, 堀内, 西山, 船木, 清水, 山田, “「はやぶさ」搭載マイクロ波放電式イオンエンジン”, 日本航空宇宙学会誌, Vol.53, No.618, (2005).
- [3] Z. Yoshida et al., "First Plasma in the RT-1 Device", Plasma Fusion Rec. 1, 008 (2006).
- [4] M.Ichimura, T.Cho, et al., "ICRF Experiments and Potential Formation on the GAMMA 10 Tandem Mirror", Plasma Science and Technology, Vol. 8, No.1 87-90(2006).
- [5] M. Y. Tanaka, K. Nagaoka, et al., "Plasma Hole", IEEE Trans. on Plasma Science, Vol. 33 No.2 454-455(2005).
- [6] Y. Kiwamoto, J. Aoki, Y. Soga, and A. Sanpei, "Controlled experiments on self-organization of ordered structures in a pure electron plasma", Plasma Phys. Controlled Fusion, Vol.47, A41-51 (2005).
- [7] Y. Soga, Y. Kiwamoto and N. Hashizume, "Transport Processes of a Non-neutral Plasma Coupled to an External Rotating Wave", Phys. Plasmas., Vol.13, No.4 (2006). (in press).
- [8] Y. Kurita and M. Sakagami "CFT Description of Three-dimensional Hawking-Page Transition", Prog.Theor.Phys. ,113, 1193-1213 (2005).
- [9] E. W. Reynolds, T. Kaneko, M. E. Koepke, and R. Hatakeyama, "Laser-Induced-Fluorescence Characterization of Velocity Shear in a Magnetized Plasma Column Produced by a Segmented Q-machine Source", Physics of Plasmas, Vol. 12, No. 7, 072103-1-6(2005).
- [10] 青柳潤一郎, 各務聡, 竹ヶ原春貴, 橘武史, 三島弘行, 齋藤憲吉, 長島隆一, 栗木恭一, “ヒドラジン分解反応促進に対する放電プラズマの適用検討”, 宇宙技術 (日本航空宇宙学会オンラインジャーナル), Vol.4, 1-6(2005).
- [11] S. Matsuyama, N. Ohnishi, A. Sasoh, K. Sawada, Journal of Thermophysics and Heat Transfer, Vol. 19, No. 1, 28-35(2005).
- [12] H.Kitabatake, M.Suemitsu, et al., "Incubation-Free Growth of Polycrystalline Si Films by Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition Using Pulsed Discharge under Near Atmospheric Pressure", JJAP, Vol.44, No.22, L683-L686(2005).
- [13] K. Sasaki, T. Maeda, N. Takada, et al., "Productions of radicals and particulates by the interaction between high-density hydrogen plasma and a graphite plate", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.44, No.10, 7614-7618(2005).
- [14] A.Ando, T.S.Watanabe, T.K.Watanabe, H.Tobari, K.Hattori, M.Inutake, "Evaluations of Para-Perp Type Mach Probe by Using a Fast Flowing Plasma", J. Plasma and Fusion Research, Vol.81, No.6, 451-457(2005).
- [15] K.Hattori, H.Yamada, H.Isobe, A.Ando and M.Inutake, "Stabilization Effects of Local Gas Flow for Sustaining DC Atmospheric Pressure Glow Discharges", Proc. of 27th Int. Conf. on Phenomena in Ionized Gases, (Eindhoven, The Netherlands), P2-21(2005).
- [16] A.Ando, M.Hatanaka, M.Shibata, H.Tobari, K.Hattori, and M.Inutake, "Heating and Acceleration of Fast-Flowing Plasma for Advanced Space Thruster", Plasma Application and Hybrid Functionally Materials, Vol.14, 31-34 (2005).